

FREQUENCY MEASUREMENT IN PSCAD

Jan Koudelka

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xkoude20@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jaroslava Orsagova

E-mail: orsagova@feec.vutbr.cz

Abstract: The article deals with the issue of frequency measurement in PSCAD software. The objective is to assess frequency waveform in buses of the grid calculated by PSCAD when outage of one generator occurs. Two simulations respecting different electrical distance between buses were accomplished. Simulation results show the correct assessment of the influence of electrical distance between buses, however inaccurate calculation of frequency comparing to speed of generators. The main contribution is to point out that frequency calculated from voltage waveform can be incorrect, which can cause false operation of protective relays.

Keywords: frequency, PSCAD, synchronous generator

1 ÚVOD

Základním požadavkem pro spolehlivý provoz elektrizační soustavy je udržování výkonové rovnováhy. To znamená, že činný výkon dodávaný generátory musí v každém okamžiku odpovídat celkovému zatížení sítě a celkovým ztrátám činného výkonu v soustavě. Ukazatelem výkonové rovnováhy soustavy je frekvence. Cílem je provozovat soustavu při jmenovité hodnotě frekvence, neboť zvýšená či snížená hodnota frekvence má podle [1] negativní vliv zejména na provoz soustrojí generátor-turbína.

Z uvedeného důvodu se v koncepci chránění elektrárenských bloků využívá frekvenční ochrana. Zároveň lze této ochrany využít v rámci obranného plánu proti šíření poruch, kdy podle [2] dojde při poklesu frekvence pod stanovenou hodnotu k odstavení bloku na vlastní spotřebu. Frekvenční ochrana bývá podle [1] někdy doplněna funkcí df/dt sledující časovou změnu frekvence, která při splnění stanovených kritérií dokáže blok odstavit rychleji než samotná frekvenční ochrana.

2 ZMĚNY FREKVENCE V SOUSTAVĚ PŘI VÝPADKU BLOKU

Jednou z příčin výkonové nerovnováhy v soustavě je výpadek elektrárenského bloku. Dojde-li k tomuto výpadku, chybějící výkon přebírají ostatní generátory v soustavě a dochází k elektromechanickému přechodnému ději. Ihned po výpadku začnou ostatní generátory zpomalovat a klesá frekvence sítě. Na pokles otáček zareagují primární regulátory turbín, které zvyšují výkon turbíny. Je-li výkonová rezerva na generátorech dostatečná, obnoví se v soustavě výkonová rovnováha a frekvence soustavy se ustálí. Jak uvádí [2], zbývající generátory převezmou chybějící výkon v závislosti na jejich elektrické vzdálenosti od místa výpadku. Z toho lze usuzovat, že největší pokles otáček nastane u elektricky nejbližšího generátoru, resp. největší pokles frekvence nastane v elektricky nejbližším uzlu.

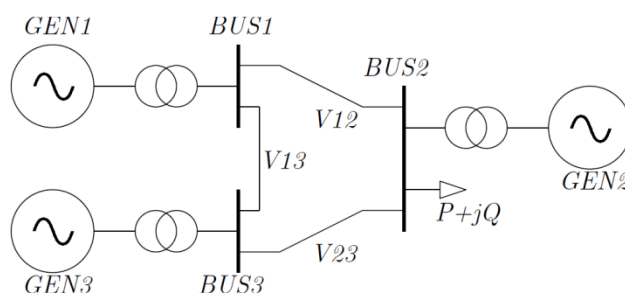
Jestliže je zdrojem napětí synchronní generátor, pak frekvence generovaného napětí odpovídá otáčkám tohoto generátoru. Mělo by tedy platit, že průběh frekvence v uzlu, do kterého generátor pracuje, a průběh otáček generátoru bude identický. Článek [3] však poukazuje na to, že simulační software může tyto průběhy vyhodnotit odlišně vlivem použitého způsobu měření frekvence. Obdržené výsledky simulací tak nemusí odpovídat fyzikální realitě.

2.1 ZKOUMANÝ PROBLÉM

Tento článek se zabývá frekvenčním chováním modelu sítě v prostředí PSCAD. Pomocí simulací v testovací síti bude vyhodnocováno, zda při simulaci výpadku bloku je největší změna frekvence v elektricky nejbližším uzlu a zda si odpovídají průběhy frekvence a otáček generátorů v příslušných uzlech.

2.2 TESTOVACÍ SÍŤ

Pro potřeby simulací byla v prostředí PSCAD sestavena jednoduchá testovací síť, jejíž přehledové schéma je na Obrázku 1. Síť je tvořena 3 uzly (*BUS1*, *BUS2*, *BUS3*) vzájemně propojenými vedeními *V12*, *V13*, *V23*. V jednotlivých uzlech jsou připojeny elektrárenské bloky označené *GEN1*, *GEN2*, *GEN3*, bloky jsou připojeny přes transformátory. V uzlu *BUS2* je připojeno zatížení. Soustava je provozována na napětí 230 kV (sružená efektivní hodnota) o kmitočtu 60 Hz.



Obrázek 1: Schéma testovací sítě.

Vzhledem k délce trvání přechodného děje jsou elektrárenské bloky modelovány použitím modelu synchronního generátoru – tzv. Parkovým modelem, doplněným modelem budiče s regulátorem „IEEE1“ a modelem turbíny s regulátorem otáček „BPA-GG“. Všechny tři bloky jsou modelovány stejně, veškeré použité parametry modelů byly převzaty z [4]. Jmenovitý výkon každého z generátorů je 835 MVA.

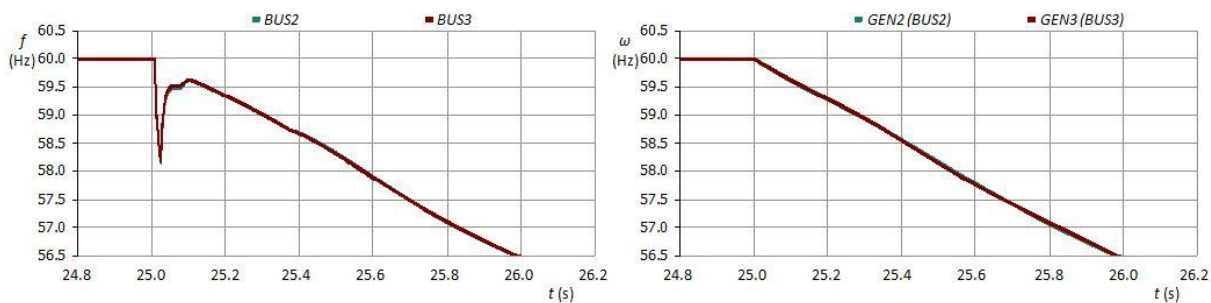
Pro modelování transformátorů se uvažuje pouze hodnota jejich reaktance, která je $9,52 \, \Omega$ (vztažena ke 230 kV), ostatní parametry (proud naprázdno a ztráty) se neuvažují. Transformátory mají převod 20/230 kV. Jednotlivá vedení se modelují zjednodušeně jako sériové spojení odporu a reaktance. Číselné hodnoty těchto parametrů se pro každý simulovaný scénář liší a číselně jsou uvedeny dále. Zatížení představuje konstantní odběr činného a jalového výkonu nezávislý na napětí a frekvenci, číselně 1500 MW a 450 Mvar.

2.3 TESTOVANÉ SCÉNÁŘE A VYHODNOCOVANÉ PRŮBĚHY

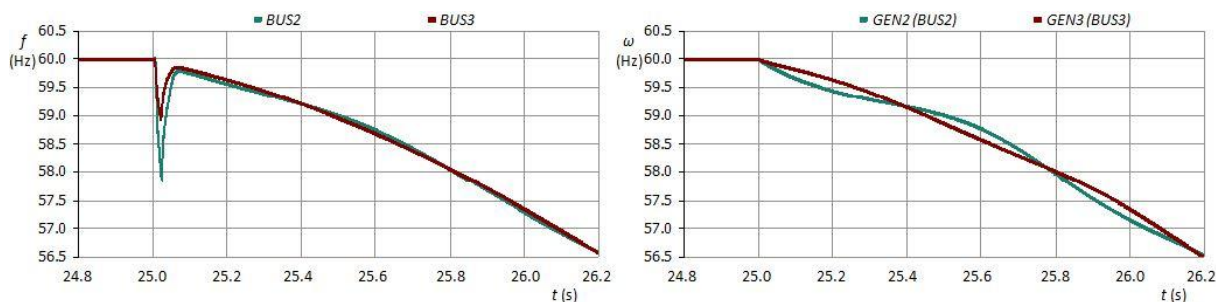
Pro ověření hypotéz byly v testovací síti simulovány 2 scénáře SC1 a SC2. Ve scénáři SC1 byly impedance vedení *V12*, *V13* a *V23* totožné: $Z_{V12} = Z_{V13} = Z_{V23} = (0,9 + j \, 5) \, \Omega$ (při 60 Hz), tedy jednotlivé uzly *BUS1*, *BUS2* a *BUS3* byly stejně elektricky vzdáleny. Po dosažení ustáleného stavu v síti došlo k výpadku bloku *GEN1*, byly sledovány hodnoty frekvence a otáček generátorů ve zbylých uzlech. Ve scénáři SC2 byly impedance vedení *V12*, *V13* a *V23* rozdílné, a to $Z_{V12} = (0,9 + j \, 5) \, \Omega$, $Z_{V13} = Z_{V23} = (9 + j \, 50) \, \Omega$ (při 60 Hz), tzn., že vůči uzlu *BUS1* je uzel *BUS2* elektricky bližší, zatímco uzel *BUS3* elektricky vzdálenější. Po dosažení ustáleného stavu v síti došlo k výpadku bloku v uzlu *BUS1* a opět byly sledovány průběhy frekvence a otáček generátorů ve zbylých uzlech.

2.4 VÝSLEDKY SIMULACÍ A JEJICH DISKUZE

Průběhy frekvence a otáček generátorů jsou pro scénář SC1 na Obrázku 2, pro scénář SC2 na Obrázku 3. Pro možnost porovnání jsou frekvence i otáčky uvedeny ve stejných jednotkách – Hz.



Obrázek 2: Průběh frekvence v uzlech *BUS2* a *BUS3* a otáček generátorů *GEN2* a *GEN3* při výpadku *GEN1* – uzly stejně elektricky vzdáleny.



Obrázek 3: Průběh frekvence v uzlech *BUS2* a *BUS3* a otáček generátorů *GEN2* a *GEN3* při výpadku *GEN1* – uzly různě elektricky vzdáleny.

Při srovnání průběhů na Obrázku 2 a 3 lze říci, že PSCAD správně vyhodnocuje vliv elektrické vzdálenosti generátorů. Při scénáři SC1 jsou průběhy frekvence i otáček ve zbylých uzlech sítě prakticky totožné, zatímco při scénáři SC2 je patrný rychlejší pokles v elektricky bližším uzlu *BUS2*. Zároveň však vyhodnocení frekvence je nesprávné a ani v jednom případě nerespektuje průběh otáček generátoru. Zatímco průběh otáček je hladký a respektuje elektromechanický přechodný děj jednotlivých generátorů, průběh frekvence vzhledem ke způsobu jejího vyhodnocování (z napětí) chybně sleduje i elektromagnetický přechodný děj, který nastane po výpadku a rychle odezní.

3 ZÁVĚR

Stěžejním poznatkem této práce je zjištění, že program PSCAD vyhodnocuje správně změny frekvence v síti v závislosti na elektrické vzdálenosti, nicméně samotný průběh frekvence je nesprávný vlivem způsobu jejího vyhodnocení. To má důsledky nejen při simulacích, kdy se jedná většinou pouze o testování, ale také prakticky při vyhodnocování frekvence v ochranách. Pokud je použit algoritmus vyhodnocování frekvence z napětí, může tak dojít k chybnému působení ochrany.

REFERENCE

- [1] TLUSTÝ, J. a kol. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [2] MÁŠLO, K. a kol. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. Praha: Asociace energetických manažerů, 2013. ISBN 978-80-260-4461-1.
- [3] DOHENY, D. Investigation into the Local Nature of Change of Frequency in Electrical Power Systems. *Student Journal of Energy Research* [online]. 2017, 2(1) [cit. 2018-03-10]. DOI: 10.21427/D7X05G. Dostupné z: <http://arrow.dit.ie/sjer/vol2/iss1/3>
- [4] IEEE 39-bus modified test system. *Dynamic IEEE test systems* [online]. Kypr: KIOS University of Cyprus [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <http://www.kios.ucy.ac.cy/testsystems/images/Documents/Data/IEEE%2039.pdf>